

地震被害を受けた農業用ため池の地盤調査例

Cases of Geophysical Explorations on the Collapsed Irrigation Pond by Earthquake

市 川 健[†] 千葉 克己^{††}
(ICHIKAWA Ken) (CHIBA Katsumi)郷 古 雅 春^{††} 上 島 照 幸^{†††}
(GOKO Masaharu) (UESHIMA Teruyuki)

I. はじめに

農業用ため池は、全国に21万カ所以上も存在する重要な灌漑施設である。しかし、明治以前に築造されたものが多いため、老朽化や耐震性の低さが指摘されている。農林水産省は平成25年度に全国46,107カ所のため池の点検を実施し、決壊した場合に下流の人家や公共施設に影響を与えるおそれのある防災重点ため池が2,056カ所存在し、洪水流下能力や耐震性能などの詳細点検が必要であるとしている。また、農地農業用施設災害統計によると、平成6～24年における豪雨や地震などによるため池の被災箇所数と被害額は、毎年300カ所以上、20億円以上であり、兵庫県南部地震（平成7年）、新潟県中越地震（平成16年）、東北地方太平洋沖地震（平成23年）（以下、「東日本大震災」という）の発生年は、2,000カ所以上、200億円以上にものぼる。

地震によるため池の堤体崩壊は、これまでの研究により堤体や基礎地盤の液状化に起因することが指摘されている¹⁾。しかし実際に地震で被災したため池において地盤調査と液状化が検討され、液状化対策がなされた例は少ない。

本報では、宮城県北部連続地震（平成15年）および東日本大震災（平成23年）によって2度堤体全体に縦断亀裂が発生したため池と、これらの地震で被害がなかったため池において地盤調査と液状化判定を行い、液状化の可能性を検討した。

II. 調査ため池

調査ため池は、宮城県東松島市内のAため池とBため池である。各ため池の諸元と位置図を表-1と図-1に示す。Aため池は、宮城県北部連続地震により堤体全体に連続性を有する縦断亀裂や段差、押出しが発生した（写真-1）。崩壊した堤体は、もともとの堤体材料を用いて災害復旧工事で再構築されたが、東日

本大震災により同様な災害を被った（写真-2）。これらの地震が発生した際、ため池の水位は崩壊部より低

表-1 調査ため池の諸元

項目	Aため池（被害大）	Bため池（被害なし）
受益面積（ha）	2	10
総貯水量（m ³ ）	3,000	2,630
堤高（m）	2.9	4.4
堤長（m）	138	65
ダム軸	N70° E	N235° E
築造年代	明治	明治



図-1 調査ため池位置図（Google マップに加筆）



写真-1 宮城県北部連続地震による A ため池の堤体崩壊

[†]（株）復建技術コンサルタント^{††}宮城大学食産業学部^{†††}元宮城大学食産業学部

農業用ため池、地震災害、地盤調査、液状化、耐震化検討



写真-2 東日本大震災による A ため池の堤体崩壊

い位置にあったため、下流への被害はなかった。一方、B ため池はこれらの地震による被害はほとんどなかった。

III. 調査法および液状化の判定法

地盤調査の方法と液状化判定は、土地改良施設耐震設計の手引きを参考に以下を実施した。地盤調査は平成 26 年 1～2 月に実施した。

ボーリング コアボーリングに標準貫入試験を併用することでボーリングコア、 N 値、攪乱試料が得られる。これにより詳細な土質判定、地下水位測定、土質試験が可能となる。調査可能深度は通常工法で 50～100 m 以上であり、硬質地盤も調査可能である。A ため池、B ため池とも堤体中央部下流（水田）側法肩付近で実施した。また、標準貫入試験試料を用いて土の粒度試験を行った。

表面波探査 非破壊調査で N 値との相関が高いとされるせん断波速度（ S 波速度）を面的に得ることができる。調査可能深度は 10～15 m 程度である。両ため池とも受信器には 4.5 Hz の速度型ジオフォンを用い、発振は堤体上の縦断方向に 1 m 間隔で地表面にカケヤで打撃を与えた。

スウェーデン式サウンディング試験 半回転数 N_{su} や換算 N 値²⁾ などから概略的な土の硬軟を評価できる。補助工法を用いることで試料採取も可能であり、調査可能深度は 10 m 程度である。締まった砂層、砂礫層や岩盤などの硬質地盤では実施できない。両ため池ともボーリング箇所直近で実施した。

液状化判定 N 値や土の粒度試験結果によって解析可能な液状化抵抗率（ F_L 値）を算出した。判定対象深度は 20 m までである。

IV. 調査結果および液状化の判定結果

ボーリング 調査ため池の各深度における N 値、土質区分を表-2 に示す。A ため池（堤高 2.9 m）は基

表-2 ため池のボーリング結果

深度 (m)	A ため池（被害大）		B ため池（被害なし）	
	N 値 (回)	土質区分	N 値 (回)	土質区分
1.3 2.3	12 8	礫混じりシルト混じり砂	4 3	シルト質砂
3.3 4.3 5.3 6.3	5 6 5 3		3 4 2 6	
7.3	1	有機質シルト質砂	50以上	砂岩
8.3 9.3 10.3 11.3 12.3 13.3 14.3 15.3	5 11 12 13 16 24 31 20	シルト混じり砂		砂質シルト
16.3 17.3 18.3 19.3 20.3	5 3 5 22 8			
21.3	50以上	砂岩		

礎地盤の深度 3.3～8.3 m および 16.3～18.3 m の N 値が 5 以下できわめて軟弱であることが認められた。基盤岩は N 値 50 以上の砂岩であり、深度 20.8 m で確認された。地下水位は堤体と基礎地盤境界付近の深度 2.7 m に位置していた。B ため池（堤高 4.4 m）の堤体の N 値は 5 以下ときわめて軟弱であり、深度 5.3～6.3 m の基礎地盤も N 値 6 以下と軟弱であった。基盤岩は砂岩であり、深度 6.8 m で確認された。地下水位は堤体内の深度 2.4 m に位置していた。

A ため池の各深度で採取した 20 試料の粒度分布は深度 7.3 m、17.3 m、18.3 m、20.3 m の 4 試料を除くすべての試料が「砂」の範囲に分布しており、砂分が卓越する土質であった（図-2）。B ため池の各深度で採取した 6 試料の粒度分布はすべてが「砂～細粒分」の範囲に分布しており、粒度分布が広いことが確認された（図-3）。

表面波探査 A ため池では、深度 5～10 m、幅およそ 130 m の広い範囲で S 波速度 0.2 km/s 以下の低速度帯が確認された（図-4）。この範囲はボーリングで得られた軟弱かつ砂分が卓越する土層と同様であると想定される。なお、この調査とボーリング結果から推定された岩盤線を図-4 に示した。B ため池は深度 0～6 m、幅およそ 60 m の範囲で 0.2 km/s 以下の低速度帯が確認され、深度 7 m 以下において S 波速度 0.3 km/s が確認された（図-5）。0.2 km/s 以下の部分はボーリングで得られた軟弱層と同様の層であり、0.3 km/s 以上の速度帯はボーリングで確認された N

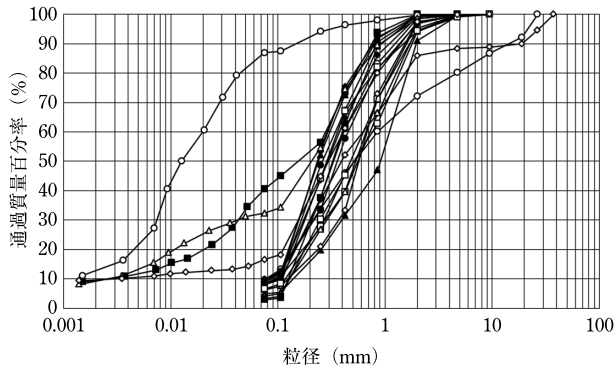


図-2 Aため池（被害大）の粒径加積曲線

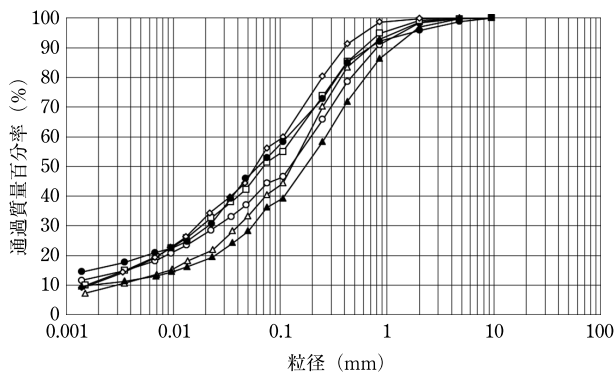


図-3 Bため池（被害なし）の粒径加積曲線

値 50 以上の基礎岩であると考えられる。

スウェーデン式サウンディング試験 Aため池の換算 N 値は、深度 3～8 m において 5 以下が主体で軟弱であることがわかった（図-6）。軟弱層の位置はボーリングの結果と類似していたが、基礎岩の位置は判明できなかった。Bため池は、深度 5 m までは 2～4 程度であり、ボーリングの結果と同様に堤体が軟弱であることが確認された。基礎岩は深度 7 m 付

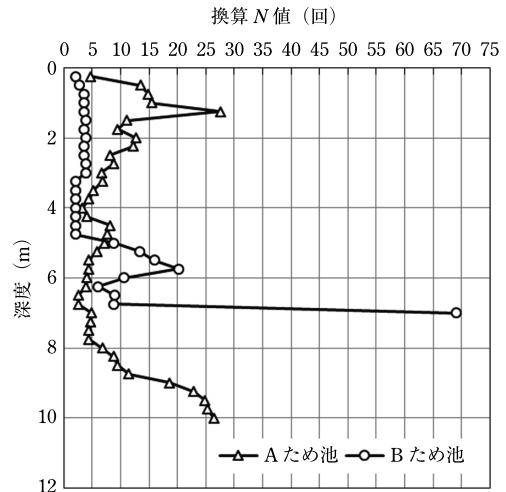


図-6 サウンディング試験結果

近に位置しており、ボーリングの結果と同様であった。

液状化判定 Aため池、Bため池の判定結果を表-3に示す。設計地震動を道路橋示方書に示されるタイプ 1・レベル 2 とした場合、Aため池は基礎地盤の大半において、また Bため池は深度 6.3 m のみにおいて液状化する ($F_L \leq 1$) 結果となった。Bため池の堤体および基礎地盤の土質は細粒分が多く含まれるため、深度 6.3 m を除くすべてが液状化検討対象外と判定された。

V. 考 察

Aため池はボーリング結果から基礎地盤に軟弱で粒径の揃った砂質土で構成される層が存在することがわかった。また、表面波探査結果からこうした緩い砂層が堤体全体の基礎地盤に厚さ 5 m 程度分布してい

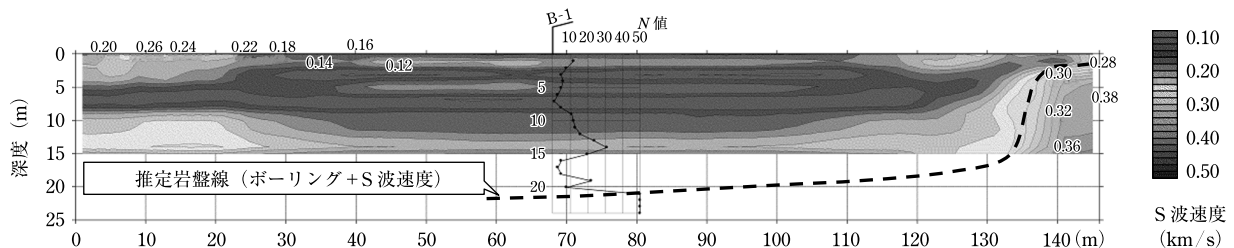


図-4 Aため池（被害大）の表面波探査結果

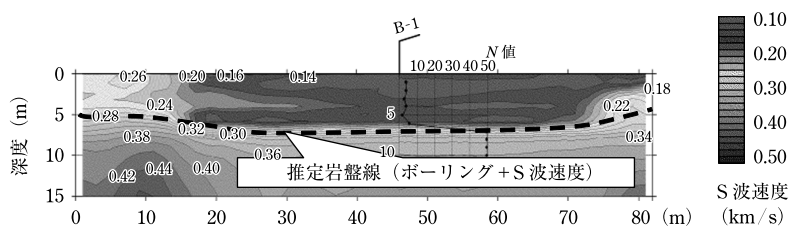


図-5 Bため池（被害なし）の表面波探査結果

表-3 液状化判定結果

深度 (m)	A ため池			B ため池		
	細粒分 含有率 F_c (%)	液状化抵 抗率*1 F_L	判定*2	細粒分 含有率 F_c (%)	液状化抵 抗率*1 F_L	判定*2
1.3	9.7	—	—	44.4	—	—
2.3	9.3	—	—	40.5	—	—
3.3	6.3	0.371	×	51.4	—	—
4.3	8.8	0.355	×	56.2	—	—
5.3	9.5	0.293	×	52.9	—	—
6.3	4.9	0.211	×	36.2	0.381	×
7.3	40.5	—	—			
8.3	9.8	0.244	×			
9.3	8.1	0.348	×			
10.3	4.1	0.352	×			
11.3	3.2	0.357	×			
12.3	6.3	0.388	×			
13.3	8	0.478	×			
14.3	9.8	0.664	×			
15.3	2.9	0.415	×			
16.3	8.7	0.206	×			
17.3	86.9	—	—			
18.3	32.3	0.271	×			
19.3	6.6	0.424	×			

*1 液状化抵抗率=動的せん断強度比/地震時せん断応力比

*2 判定: ×は液状化する, —は液状化検討対象外

ることが想定された。さらに、基礎地盤の大半で F_L が1以下を示し、液状化すると判定された。

B ため池は、ボーリング結果から堤体および基礎地盤が軟弱であることが確認された。しかし、それらは細粒分を多く含む土質で構成されていることが認められた。以上のことから、2度の地震によって A ため池の堤体全体で縦断亀裂が発生した原因は、深度5~10 m 付近に広く分布する緩い砂層の液状化による可能性があり、今後再度災害を防止するためには基礎地盤の液状化対策が必要であると考えられる。一方、B ため池は、堤体は軟弱であるが、液状化が発生しなかったために被害がなかったことが示唆される。

堀ら³⁾は大規模ため池における堤体の安定性を検討するためにボーリングによる不攪乱試料の採取の必要性を述べている。今回の調査においても、ボーリングと標準貫入試験試料の粒度試験を行うことで A ため池の基礎地盤において液状化が発生した可能性があることを示すことができた。また、表面波探査を併せて実施したことによって、液状化が発生した層の分布範囲を推定することができた。したがって、ため池において地盤調査を行う場合は、液状化する可能性がある緩い砂層の分布を把握するため、ボーリングやスウェーデン式サウンディング試験に加え、表面波探査を併せて実施するべきと考えられる。なお、スウェーデン式サウンディング試験を実施する場合はサウン

ディングと併用可能な小型サンプラーなどを用いて試料を採取することが必要である。

VI. おわりに

今後、防災重点ため池を対象に地盤調査が実施されることになる。その際、被災履歴や重要度、規模や利用形態をはじめ、必要な調査データ、調査予算など多くの条件を勘案した適切な調査手法の選定が求められる。本報がその一助となれば幸いである。

本研究を遂行するに当たり、宮城県東松島市産業部農林水産課に大変お世話になりました。記してここに深く感謝いたします。

引用文献

- 1) 谷 茂, 堀 俊和: 日本におけるため池を含めた農業用フィルダムの地震被害に関する研究, 農業工学研究所報告 37, pp.51~90 (1998)
- 2) 地盤工学会: 地盤調査の方法と解説, p.331 (2013)
- 3) 堀 俊和, 上野和広, 松島健一: 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震による福島県のため池被災の特徴と応急対策, 農村工学研究所技報 213, pp.195~196 (2012) [2015.7.16.受理]

市川 健 (正会員)



略 歴
1973年 秋田県に生まれる
1996年 国土建設学院卒業
中央開発 (株) 入社
2004年 (株) 復建技術コンサルタント入社
2015年 宮城大学大学院修了
現在に至る

千葉 克己 (正会員・CPD 個人登録者)



1971年 宮城県に生まれる
1996年 岩手大学大学院修了
宮城県入庁
2002年 宮城県農業短期大学講師
2013年 宮城大学准教授
現在に至る

郷古 雅春 (正会員・CPD 個人登録者)



1960年 宮城県に生まれる
1982年 岩手大学農学部卒業
1985年 宮城県入庁
2014年 宮城大学教授
現在に至る

上島 照幸



1949年 愛知県に生まれる
1973年 東京大学大学院修了
(財) 電力中央研究所入所
2005年 宮城大学教授
2014年 宮城大学を定年退職
現在に至る